

# GENERACIÓN SINTÉTICA DE SERIES DE PRECIPITACIÓN HORARIAS, MEDIANTE MODELOS PUNTUALES, EN ZONAS SIN INFORMACIÓN SUB-DIARIA

Javier Diez-Sierra<sup>1</sup>, Manuel del Jesus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Environmental Hydraulics Institute. Universidad de Cantabria.*

**javier.diez@unican.es, manuel.deljesus@unican.es**

## RESUMEN

Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) muestran una metodología para predecir estadísticos sub-diarios de precipitación en aquellos lugares de España donde únicamente existe información supra-diaria. En el presente trabajo se hace uso de los resultados del citado trabajo para calibrar modelos puntuales (Cowpertwait et al., 2013) y generar así series sintéticas horarias de precipitación en diferentes localizaciones de España. El objetivo del presente trabajo es evaluar los periodos de retorno de las series sintéticas simuladas para tres escenarios. Alimentando los Modelos Puntuales mediante: (1) estadísticos horarios y diarios de las series observadas, (2) estadísticos horarios predichos por los resultados de Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) y estadísticos diarios observados y (3) únicamente con estadísticos diarios observados.

Además con el propósito de analizar los efectos del clima futuro, las series sintéticas serán actualizadas mediante los resultados de los modelos climáticos globales (*Global Climate Models, GCMs*) correspondientes al *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5, Taylor, 2012); así como también mediante las proyecciones diarias de precipitación elaboradas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Los resultados del trabajo muestran por un lado que calibrando los modelos puntuales mediante los resultados predichos por Diez-Sierra, J. y del Jesus, M. (2018), somos capaces de reproducir los periodos de retorno horarios observados. Y por otro que, según el presente análisis, los periodos de retorno se incrementarán significativamente para el clima futuro.

**Palabras clave:** precipitación, *downscaling* temporal, simulación sintética, periodos de retorno.

## ABSTRACT

Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) present a methodology for predicting sub-daily rainfall statistics in those places in Spain where only supra-daily information is available. The results of the aforementioned work are used to inform Point Models (Cowpertwait et al., 2013) and to generate hourly rainfall synthetic time series in different locations in Spain. The objective of the present work is to evaluate the return periods of the synthetic series for three different scenarios. Fitting the Point Models by: (1) hourly and daily statistics from observed time series, (2) hourly statistics predicted by the results of Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) and daily statistics

from observed time series and (3) only with daily statistics computed from observed time series.

In addition, to analyze the effects of climate change, the synthetic series will be updated using the results of Global Climate Models (GCMs) corresponding to the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5, Taylor et al., 2012) and with daily rainfall projections produced by the Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). The results of the work show, on the one hand, that informing the Punctual Models by the results obtained by Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018), these are capable to reproduce the observed hourly return period; and on the other we show the effect of climate change in the return periods from several gauges in Spain.

**Key words:** precipitation, temporal downscaling, synthetic simulation, return periods.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el campo de la hidrología urbana es fundamental caracterizar la precipitación a escalas temporales de agregación horaria o minuta para estudios de inundación o diseños estructurales (Smith et al., 2007, Michaud, J. y S. Sorooshian 1994). Si además tenemos en cuenta la vida útil asociada a dichos proyectos (50 años o más en algunos casos) y la no estacionariedad en el clima, cabe pensar que en un futuro próximo podría ser de obligado cumplimiento el analizar los efectos del cambio climático en los regímenes de precipitación en cualquier proyecto de gestión ambiental o de ámbito ingenieril, entre otros.

Sin embargo, caracterizar la precipitación a escalas de agregación temporal por debajo del día y establecer sus cambios para el clima futuro presenta muchas complicaciones. Por un lado, es difícil disponer de series instrumentales de precipitación con información a dichas escalas de agregación. Esto es lo que sucede precisamente en España, donde la densidad de estaciones con información sub-diaria es mucho menor que la diaria, y donde además la mayor parte de estaciones con información sub-diaria aparecen a finales de los años 90.

Existen diferentes técnicas estadísticas y matemáticas para, a partir de información supra-diaria de precipitación, estimar la precipitación a agregaciones temporales más pequeñas. Dichas técnicas se basan principalmente en el uso de leyes de escala (Marini and Zanetti, 2007), modelo puntuales (Rodríguez-Iturbe et al., 1987) y modelos de regresión (Beuchat, 2011). Sin embargo ha quedado demostrado que estas técnicas dependen del tipo de clima, y de las zonas de estudio concretas donde se quieran aplicar, y por lo tanto son difíciles de generalizar a otras zonas (Cowpertwait et al., 1996).

Por otro lado, tenemos las limitaciones asociadas al procedimiento para estimar nuestros regímenes de precipitación en el futuro. A este respecto existen diferentes técnicas de corrección de sesgo y de *downscaling* estadístico ampliamente utilizadas para dicho propósito (Fowler, H.J. et al., 2007). No obstante, en el caso de las técnicas de corrección del sesgo únicamente corrigen los momentos de primer orden, mientras que en el caso de las técnicas de *downscaling* estadístico suavizan los resultados en la mayoría de los casos.



Teniendo en cuenta todo esto, cabe pensar que sería de gran ayuda desarrollar una metodología robusta para proporcionar series sub-diarias de precipitación para el clima presente y futuro en aquellos lugares de España donde únicamente se disponga de información diaria. A ese respecto Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) presentaron los resultados previos de una metodología, basada en el trabajo de (Beuchat, 2011), para predecir estadísticos horarios de precipitación en cualquier localización de España con información diaria. Dicho trabajo se basa en establecer relaciones de regresión entre estadísticos sub-diarios de precipitación (predictando) y estadísticos supra-diarios y predictores atmosféricos de reanálisis (predictores). Los estadísticos sub-diarios predichos serán a su vez utilizados para calibrar modelos puntuales y así generar series sintéticas de precipitación horarias en cualquier parte de España.

El objetivo principal del presente trabajo es utilizar los resultados obtenidos por Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) para realizar un análisis de sensibilidad, en alguna estaciones de España, de los periodos de retorno horarios simulados mediante los modelos puntuales para tres escenarios: (1) estadísticos horarios y diarios de las series observadas, (2) estadísticos horarios predichos por los resultados de Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) y estadísticos diarios observados y (3) únicamente con estadísticos diarios observados. Cada uno de los escenarios recibe el nombre de Exacto, Objetivo y Simple respectivamente.

Además con el objetivo de analizar los efectos del clima futuro en los resultados, se actualizarán las series sintéticas a través de los resultados de los modelos climáticos globales correspondientes al CMIP5, y de las proyecciones diarias de precipitación elaboradas por AEMET.

## 2. MÉTODOS

Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) presentan una metodología para calcular estadísticos sub-diarios de precipitación en cualquier localización con información diaria del territorio español. Los resultados de dicha metodología se obtienen estableciendo relaciones de regresión mediante la técnica Random Forest (RF) (Breiman, L., 2001) entre variables atmosféricas de la base de datos de reanálisis NCEP y estadísticos supra-diarios por un lado (predictores), y estadísticos sub-diarios de precipitación por el otro (predictando). La calidad de las predicciones es evaluada en más de 900 estaciones con información horaria mediante validación cruzada (Markatou, M., 2005).

La tabla 1 recoge los predictores y predictandos utilizados por Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) en su análisis. La figura 1 muestra los resultados observados y predichos mediante la validación cruzada para la media ( $\mu$ ), varianza ( $\sigma^2$ ), coeficiente de skewness ( $\gamma$ ), proporción de intervalos secos (Pdry), autocorrelación temporal lag-1 (ACF-lag1) y probabilidades de transición ( $\emptyset_{DD}$  y  $\emptyset_{WW}$ ) a una agregación temporal horaria. Como se puede observar en la figura 1, exceptuando para la ACF-lag1, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) está cercano o supera el valor de 0.8 para todos los estadísticos.

Los resultados de la metodología ponen de manifiesto que las relaciones entre los estadísticos de precipitación a diferentes escalas de agregación no son lineales. Y que además dichas relaciones dependen de la localización y el tipo de clima.

	Variables	Estadísticos	Agreg. Temporales
Predictores	Inf. Supra-diaria de precip.	$\mu, \sigma^2, \gamma, \text{Pdry}, \text{ACF-lag1}, \phi_{DD} \text{ y } \phi_{WW}$	1D, 2D y 3D; Día (D)
	Variables atmosféricas	TAS, HUR (850 hPa), SLP y U y V (500 hpa)	1m; Mes (m)
Predictandos	Inf. Sub-diaria de precip.	$\mu, \sigma^2, \gamma, \text{Pdry}, \text{ACF-lag1}, \phi_{DD} \text{ y } \phi_{WW}$	1h, 2h, 3h, 6h y 12h; Hora (h)

Tabla 1. Predictores y predictandos utilizados para ajustar la técnica RF. Temperatura superficial del aire (TAS), humedad relativa (HUR), presión a nivel del mar (SLP) y velocidad de viento (U, V).

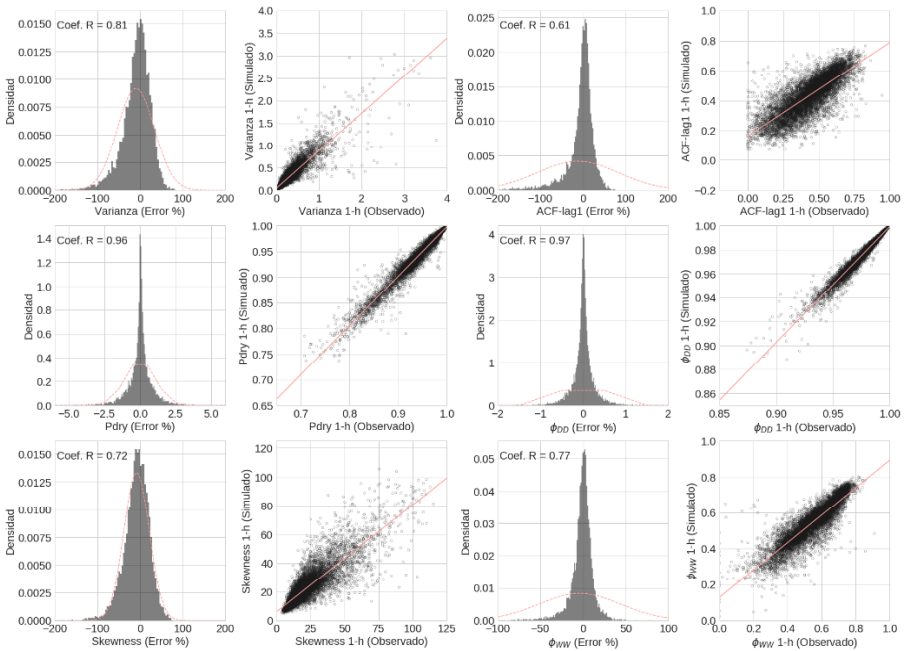


Fig. 1. Resultados horarios observados y predichos mediante validación cruzada para los estadísticos  $\mu, \sigma^2, \gamma, \text{Pdry}, \text{ACF-lag1}, \phi_{DD}$  y  $\phi_{WW}$ . Los paneles situados a la izquierda muestran el histograma de los errores mientras que los paneles de la derecha muestran los resultados simulados versus los observados.

En el presente trabajo hacemos uso de los ajustes obtenidos mediante la técnica RF para realizar dos análisis diferentes. Primero para tratar de predecir los periodos de

retorno horarios en tres estaciones con información horaria. Para ello evaluamos los periodos de retorno de las series sintéticas simuladas mediante modelos puntuales ajustados para los tres escenarios (Exacto, Objetivo y Simple) anteriormente descritos. Y segundo para evaluar los efectos del cambio climático en los periodos de retorno horarios en otras tres estaciones. Para ello calcularemos los estadísticos sub-diarios de precipitación para el clima futuro mediante la actualización de los predictores recogidos en la tabla 1. El método *delta* (Graham, L.P., 2007), calculado entre el periodo 2046-2065 y 1980-2000, de la media del conjunto 15 modelos del CMIP5 ha sido utilizado para dicho propósito. Los escenarios escogidos han sido el RCP4.5 y RCP8.5. La información de los predictores atmosféricos en el clima futuro se ha obtenido directamente de los resultados del CMIP5 a una resolución mensual. En el caso de los estadísticos supra-diarios de precipitación, se ha utilizado el *downscaling* estadístico realizado por AEMET mediante la técnica de análogos.

Para generar las series sintéticas de precipitación hemos hecho uso del modelo puntual Newman-Scott Rectangular Pulses (NSRP) definido en Cowpertwait, P., (2013). El modelo ha sido ajustado para cada uno de los 12 meses del año por separado y se compone de diferentes tormentas tipo, combinación de la agregación de dos procesos de NSRP independientes. De esta manera capturamos mejor los diferentes procesos convectivos y frontales existentes en muchos de los territorios de España. El modelo NSRP ha sido ajustado a los estadísticos  $\mu$ ,  $\sigma^2$ ,  $\gamma$ , Pdry, ACF-lag1,  $\phi_{DD}$  y  $\phi_{WW}$  para  $T \in \{1_h, 2_h, 3_h, 6_h, 12_h, 1_D, 2_D, 3_D\}$ .

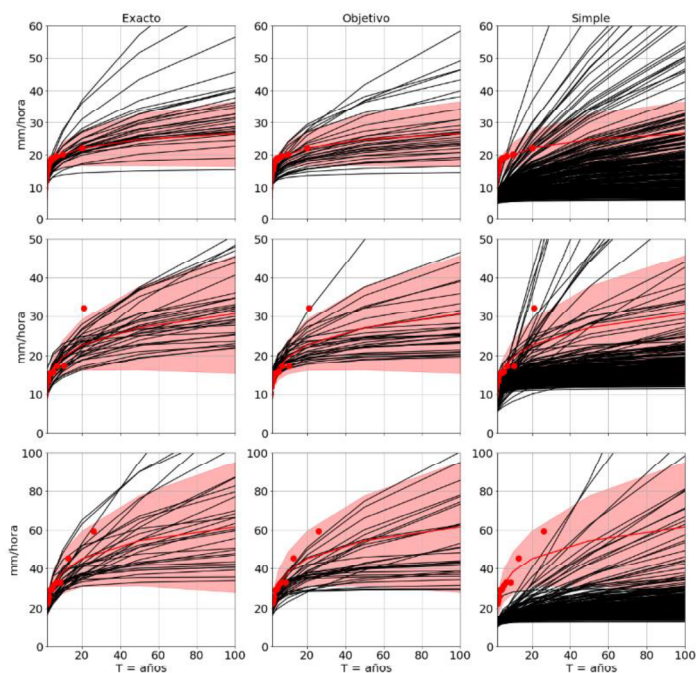
### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Periodos de retorno horarios para el clima presente.

En el presente sub-apartado comparamos los periodos de retorno horarios de las series sintéticas simuladas mediante el modelo NSRP ajustado para cada uno de los tres escenarios (Exacto, Objetivo y Simple) por separado. Hemos seleccionado tres estaciones localizadas en diferentes puntos de España: una en la cuenca de Ebro, otra en la cuenca Andaluza Mediterránea y otra en la cuenca del Júcar. Se ha ajustado un único modelo NSRP para cada escenario, Exacto y Objetivo, y para cada estación. Y se han simulado 30 series sintéticas horarias con la misma cobertura temporal que la de las series de precipitación observadas. En el caso del escenario Simple hemos ajustado 10 modelos NSRP diferentes para cada una de las 3 estaciones, ya que al no informar a los mismos con estadísticos sub-diarios, el modelo queda infradeterminado y por tanto distintos ajustes pueden resultar en diferentes estadísticos sub-diarios en cada caso.

La figura 2 muestra los periodos de retorno calculados mediante el método de excedencias sobre un umbral (*Peak Over Threshold* (POT), Beguería, S., 2006) para las tres estaciones y los tres escenarios. Cada una de las columnas corresponde al escenario Exacto, Objetivo y Simple respectivamente. La línea y el sombreado de color rojo corresponden al ajuste de la serie instrumental y a los intervalos de confianza del 95% respectivamente; mientras que los puntos rojos corresponden los

valores observados. Las líneas negras corresponden a los periodos de retorno simulados mediante los modelos NSRP. Como se puede observar en la figura 3, tanto para el escenario Exacto como el escenario Objetivo, los periodos de retorno sintéticos están, en la mayoría de las simulaciones, dentro de los intervalos de confianza observados. No sucede lo mismo con el escenario Simple, que al ser ajustado únicamente con información diaria presenta una variabilidad mucho más elevada y además subestima significativamente los periodos de retorno horarios observados.



*Fig. 2. Periodos de retorno observados y simulados para los tres escenarios (Exacto, Objetivo y Simple). La línea y el sombreado de color rojo corresponden al ajuste observado y a los intervalos de confianza del 95% respectivamente; mientras que los puntos rojos corresponden los valores observados. Las líneas negras corresponden a los periodos de retorno simulados. Cada una de las filas representa una de las tres estaciones situadas respectivamente en la cuenca de Ebro, en la cuenca Andaluza Mediterránea y en la cuenca del Júcar respectivamente.*

### 3.2. Periodos de retorno horarios para el clima futuro.

En el presente apartado hemos seleccionado tres estaciones con información diaria de precipitación que a su vez estuvieran contenidas en el *downscaling* realizado por AEMET mediante la técnica de análogos. Las estaciones seleccionadas han sido la C667J situada en Gran Canaria, la 6314 situada en el municipio de Almería y la 4339 en Extremadura.

Hemos utilizado la técnica delta de corrección del sesgo para actualizar los predictores incluidos en la tabla 1 para las tres estaciones. Los escenarios seleccionados son el RCP4.5 y el RCP8.5. El periodo de estudio será aquel comprendido por los años 2046-2065. El método *delta* se ha calculado sobre la media del conjunto de los siguientes modelos: ACCESS1-0, BNU-ESM, CMCC-CM, CNRM-CM5, GFDL-ESM2G, MIROC-ESM, MIROC5, MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR, MRI-CGCM3, bcc-csm1-1, bcc-csm1-1-m, inmcm4.

Hemos utilizado el modelo RF, ajustado en el clima presente, y los predictores actualizados mediante el método *delta* para predecir los estadísticos horarios para el clima futuro en las tres estaciones seleccionadas.

La figura 3 muestra los estadísticos horarios de precipitación para las tres estaciones en el clima presente (línea discontinua negra) y para los escenarios RCP4.5 (línea verde) y RCP8.5 (línea roja). Como vemos en la figura 3 el estadístico que se ve más afectado por los efectos del cambio climático es el coeficiente de *skewness* para las tres estaciones. Lo cual unido a que la varianza horaria se mantiene estable hace pensar que los periodos de retorno se verán aumentados en el futuro.

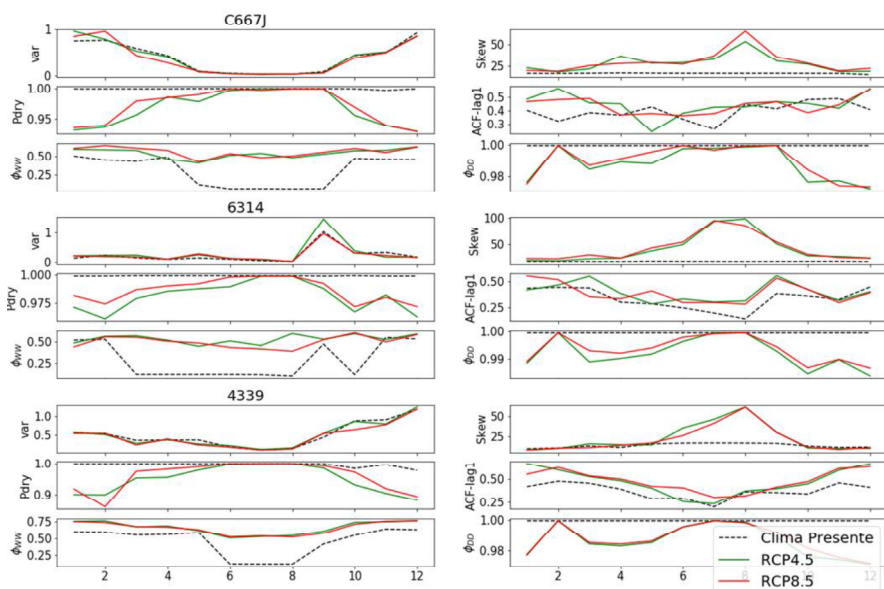


Fig. 3. Estadísticos horarios de precipitación ( $\mu$ ,  $\sigma^2$ ,  $\gamma$ ,  $P_{dry}$ ,  $ACF-lag1$ ,  $\phi_{DD}$  y  $\phi_{WW}$ ) predichos para el clima presente y para el clima futuro mediante la metodología previamente presentada.

Para analizar cómo se comportan los periodos de retorno en el clima futuro hemos ajustado el modelo NSRP mediante los estadísticos de la figura 3 para las tres estaciones. Como nuestro propósito, en este caso, es comparar los periodos de retorno simulados para cada uno de los tres escenarios (Clima Presente, RCP4.5 y RCP8.5)

hemos simulado 1000 años de precipitación horaria para cada estación. La figura 4 muestra los periodos de retorno calculados mediante la técnica POT para las tres estaciones. Como podemos observar los periodos de retorno aumenta en los tres casos, especialmente en la estación 6314 situada en el municipio de Almería, donde prácticamente se duplican

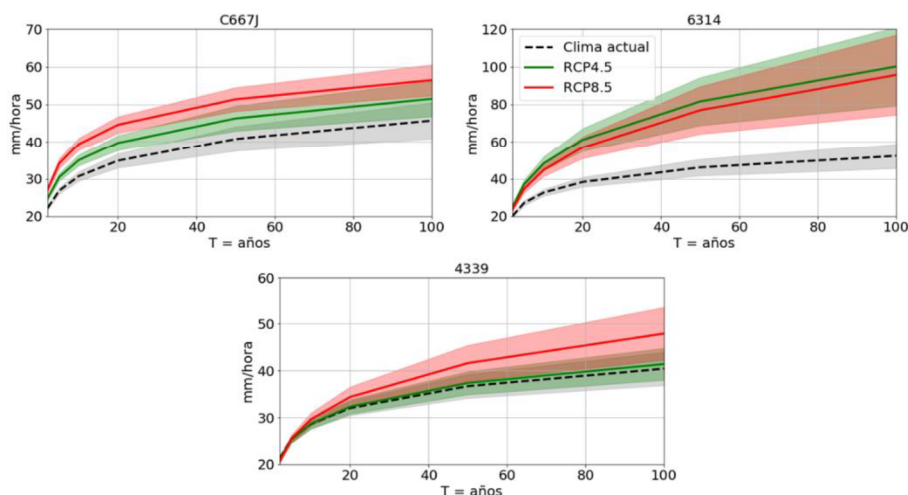


Fig. 4. Periodos de retorno calculados mediante la técnica POT para las series sintéticas de 1000 años simuladas mediante el modelo NSRP para las estaciones C667j, 6314 y 4339 en el clima presente y para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

#### 4. DISCUSIÓN

En el presente documento se realiza un análisis de sensibilidad para predecir periodos de retorno horarios de precipitación, para el clima presente y futuro, a partir de los resultados de Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) en aquellas localizaciones donde únicamente existe información diaria.

Dicho análisis de sensibilidad se ha validado para reproducir los periodos de retorno observados en tres estaciones con información horaria. Los resultados demuestran que los NSRP no son capaces de reproducir los periodos de retorno horarios observados cuando únicamente son ajustados con estadísticos sub-diarios. Sin embargo, haciendo uso de los resultados de la metodología propuesta por Diez-Sierra, J. y del Jesus, M., (2018) los periodos de retorno simulados y observados presentan el mismo comportamiento.

Por otro lado, se han evaluado los efectos del cambio climático sobre los periodos de retorno de tres estaciones incluidas en el *downscaling* de cambio climático realizado por AEMET. Los resultados muestran que el aumento en la temperatura nos lleva hacia un clima más extremo.

En resumen, el presente trabajo trata de resolver algunas de las limitaciones a las que los técnicos se enfrentan a la hora de analizar los extremos de precipitación, para el clima presente y futuro, a escalas de agregación sub-diarias. Dichas limitaciones son: la baja densidad de información instrumental a escalas de agregación sub-diarias, la corta longitud temporal de las series y el uso de técnicas para introducir los efectos de cambio climático que únicamente afectan a algunos aspectos de la precipitación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Agencia Estatal de Investigación (AEI), del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España, y a la European Regional Development Fund (ERDF) por la financiación proporcionada a través de BIA2016-78397-P (AEI/FEDER, UE).

## REFERENCIAS

- Beguiria, S., Vicente-Serrano, S.M. Mapping the hazard of extreme rainfall by peaks over threshold extreme value analysis and spatial regression techniques (2006) *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45 (1), pp. 108-124.
- Beuchat, X., Schaefli, B., Soutter, M., Mermoud, A. Toward a robust method for subdaily rainfall downscaling from daily data (2011). *Water Resources Research*, 47 (9), art. no. W09524.
- Breiman, L. Random forests (2001) *Machine Learning*, 45 (1), pp. 5-32.
- Cowpertwait, P.S.P., O'Connell, P.E., Metcalfe, A.V., Mawdsley, J.A. Stochastic point process modelling of rainfall. II. Regionalisation and disaggregation (1996). *Journal of Hydrology*, 175 (1-4), pp. 47-65.
- Cowpertwait, P., Ocio, D., Collazos, G., De Cos, O., Stocker, C. Regionalised spatiotemporal rainfall and temperature models for flood studies in the Basque Country, Spain (2013) *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (2), pp. 479-494.
- Diez-Sierra, J. and del Jesus, M. Downscaling from daily to subdaily rainfall through regression based on large-scale atmospheric variables. EGU2018-15703
- Fowler, H.J., Blenkinsop, S., Tebaldi, C. Linking climate change modelling to impacts studies: Recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling (2007). *International Journal of Climatology*, 27 (12), pp. 1547-1578.
- Graham, L.P., Andréasson, J., Carlsson, B. Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods - A case study on the Lule River basin (2007) *Climatic Change*, 81 (SUPPL. 1), pp. 293-307.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis

- project (1996) *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77 (3), pp. 437-471.
- Marani, M., Zanetti, S. Downscaling rainfall temporal variability (2007). *Water Resources Research*, 43 (9), art. no. W09415.
- Markatou, M., Tian, H., Biswas, S., Hripcsak, G. Analysis of variance of cross-validation estimators of the generalization error (2005) *Journal of Machine Learning Research*, 6, 42 p.
- Michaud, J. y S. Sorooshian (1994). Effect of rainfall sampling errors on simulations of desert flash floods. *Water Resources Research* 30.10, 2765-2775.
- Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D.R., Isham, Valerie. SOME MODELS FOR RAINFALL BASED ON STOCHASTIC POINT PROCESSES (1987). *Proceedings of The Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences*, 410 (1839), pp. 269-288.
- Smith, J.A., Baeck, M.L., Meierdiercks, K.L., Miller, A.J., Krajewski, W.F. Radar rainfall estimation for flash flood forecasting in small urban watersheds (2007) *Advances in Water Resources*, 30 (10), pp. 2087-2097.
- Taylor, K. E., R. J. Stouffer, and G. A. Meehl, 2012: A summary of the CMIP5 experiment design. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 93, 485–498.